

VERIFIKASI *PERCENTAGE DEPTH DOSE (PDD)* DAN *PROFILE DOSE* PESAWAT *LINEAR ACCELERATOR (LINAC)* BERKAS ELEKTRON 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV DAN 15 MeV MENGGUNAKAN *WATER PHANTOM*

Jumedi Marten Padang*, Syamsir Dewang**, Bidayatul Armynah***

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang Verifikasi *Percentage Depth Dose (PDD)* dan *Profile Dose* Pesawat *Linear Accelerator (LINAC)* Berkas Elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV Menggunakan *Water Phantom*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *Percentage Depth Dose (PDD)* dan *Profile Dose* pesawat linac jenis HCX 5640 berkas elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV untuk luas lapangan 10 x 10 cm². Penelitian ini membandingkan data acuan yang telah ada sebelumnya dan data yang diperoleh dari hasil penelitian dengan bantuan aplikasi *matrix laboratory (MATLAB)* dan Microsoft Excel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi energi berkas elektron berpengaruh pada jangkauan kedalaman penyinaran, semakin besar energi elektron maka jangkauannya akan lebih dalam dibandingkan energi yang lebih kecil. Berkas elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV pada luas lapangan 10 x 10 cm² memiliki tingkat ketidakakurasian yang bervariasi. Tingkat ketidakakurasian yang melebihi 3% tidak dapat ditolerir karena melewati standar yang ditentukan.

Kata Kunci : *Percentage Depth Dose (PDD)*, *Profile Dose*, *Linear Accelerator*, *Water Phantom*, *matrix laboratory*.

ABSTRACT

A research concerning verification *Percentage Depth Dose (PDD)* and *Profile dose* *Linear Accelerator (LINAC)* electron beam 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV using water phantom had been done. This research aims to analyze percentage depth dose (*PDD*) and profile dose linac HCX 5640 electron beam of 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV respectively by the field size of 10 x 10 cm². This research compare reference data that already existed and the data that acquired from the result of the research with support by *Matrix Laboratory* application and Microsoft Excel.

The results of the research showed that energy variation of electron beam impacted to depth reach of radiation, the higher electron energy had range more depth than the small electron energy. Electron beam 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV by the field size 10 x 10 cm² has a degree of inaccuracy varied. Degree of inaccuracy that more than 3% can not be tolerated because passed the prescribed standards.

Keywords : *Percentage Depth Dose (PDD)*, *Profile Dose*, *Linear Accelerator*, *Water Phantom*, *Matrix Laboratory*

Pendahuluan

Radioterapi adalah suatu perlakuan (*treatment*) pengobatan terapi memanfaatkan radiasi pengion untuk mengobati suatu penyakit tumor ganas (kanker). Radiasi pengion yang dimanfaatkan seperti Sinar-X, sinar gamma

ataupun elektron dengan tingkat energi tinggi.^[1]

Pemberian dosis yang berlebih akan mengakibatkan kerusakan jaringan normal di luar lapangan penyinaran, sedangkan dosis yang tidak cukup untuk membunuh sel

kanker akan mengakibatkan kambuh/residif. Kasus kesalahan penyinaran sehubungan dengan pesawat Radioterapi LINAC biasanya berawal dari berkas radiasi yang keluar tidak sesuai harapan saat akan menyinari pasien. *American Association of Physicist in Medicine* (AAPM) merekomendasikan agar dosis yang diberikan dalam terapi pasien memiliki ketidakakuratan yang dapat ditolerir pada jangkauan $\pm 5\%$.^[2]

Peraturan Pemerintah RI nomor 33 Tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif (pasal 44:1): Pemegang izin, untuk menjamin keselamatan sumber radiasi wajib melakukan verifikasi keselamatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4:3.^[3]

Berdasarkan uraian diatas, penulis akan mencoba meneliti untuk mengetahui *percentage depth dose* (PDD) dan *profile dose* dari pesawat linac jenis varian HCX 6540 untuk berkas elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV untuk luas lapangan aplikator 10 x 10 cm² dengan menggunakan *water phantom*.

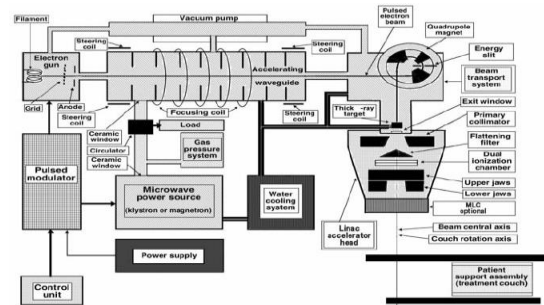
Teori

Penemuan radiasi pengion merupakan awal dari perkembangan radioterapi. Radiasi pengion dimanfaatkan untuk pengobatan penyakit kanker karena interaksi radiasi pengion dengan jaringan mengakibatkan ionisasi, proses ionisasi sebagai hasil interaksi radiasi pengion dengan jaringan akan membuat rantai DNA terputus sehingga dapat merusak bahkan mematikan jaringan tersebut.^[4]

Linear Accelerator

Elektron merupakan partikel bermuatan yang paling mudah diperoleh dan juga dipercepat untuk menghasilkan suatu berkas yang bisa digunakan untuk radiasi langsung maupun tak langsung (foton).^[4]

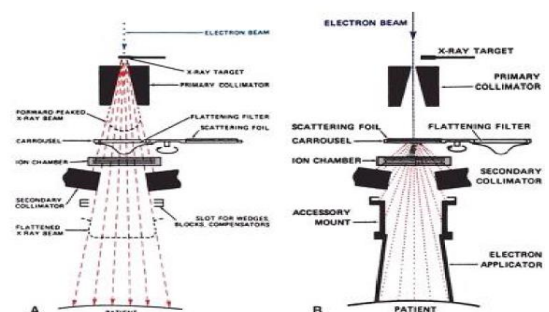
Elektron energi tinggi yang dihasilkan LINAC digunakan untuk terapi tumor yang dekat pada permukaan (*superficial tumours*), atau ditembakkan ke sebuah target untuk menghasilkan Sinar-X untuk terapi tumor pada kedalaman tertentu.^[1,6,7]



Gambar 1 Skema Pesawat LINAC dalam bidang Radioterapi^[8]

Bagian Bagian Kepala Linear Accelerator

Kepala LINAC memiliki komponen yang mempunyai peranan penting dalam produksi dan memonitor berkas yang dihasilkan oleh pesawat LINAC.^[8]



Gambar 2. Skema Komponen Dasar Bagian Kepala LINAC (A) Komponen untuk Menghasilkan Berkas Sinar-X. (B) Komponen untuk Menghasilkan Berkas Elektron^[8]

Untuk berkas elektron, kedua kolimator ini tidak cukup untuk menghasilkan bentuk berkas yang diinginkan (*well defined beam*).

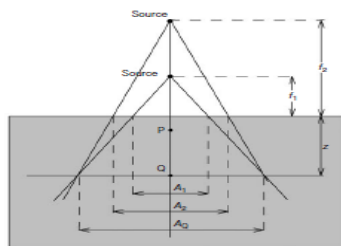
Untuk menghindari hal ini, biasa digunakan sebuah aplikator yang fungsinya mengkolimasi elektron sedekat mungkin dengan permukaan terapi dan aplikator ini terbuat dari material dengan nomor atom rendah. [6]

Karakteristik Berkas Elektron

Elektron telah digunakan untuk terapi sejak awal tahun 1950an. Elektron merupakan partikel subatom yang bermuatan negatif. Pada *mode* terapi berkas elektron, elektron sebelum sampai ke target terapi akan berinteraksi terlebih dahulu dengan ionisasi *chamber*, kolimator, udara dan aplikator sehingga energi yang sampai ke pasien akan berkurang. Saat elektron melewati medium, elektron akan berinteraksi dengan atom dengan beberapa variasi gaya coulomb. [6,9]

Percentage Depth Dose (PDD)

Distribusi dosis pada sumbu utama dalam medium (pasien atau fantom) dikenal sebagai PDD (*Percentage Depth Dose*).



Gambar 3. Skematik Pengukuran PDD [8]

PDD dapat didefinisikan sebagai prosentase dari perbandingan dosis maksimum dengan dosis serap pada kedalaman tertentu.. [10]

$$\%DD = \frac{Dd}{Dm} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

%DD = Persentase dosis kedalaman

Dd = Dosis serap pada kedalaman d

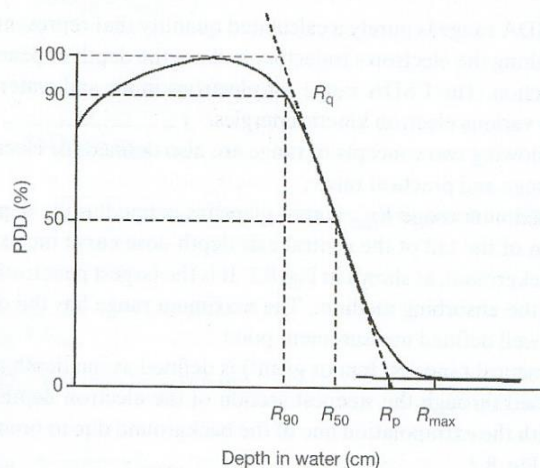
Dm = Dosis serap maksimum (pada kedalaman acuan d_0)

Dengan kurva PDD, akan diperoleh parameter dosimetri yang berguna dalam radioterapi. Parameter tersebut seperti kedalaman dosis maksimum R_{100} , kedalaman dosis mencapai 80% dari nilai maksimum R_{80} , kedalaman dosis mencapai 50% dari nilai maksimum R_{50} dan rentang praktis elektron R_p yang merupakan garis tangensial pada kurva dosis kedalaman. Dari parameter diatas kita dapat menentukan energy yang paling mungkin, E_{p0} dan energy yang sampai ke permukaan, E_0 :

$$E_{p0} = 0,22 + 1,9R_p + 0,0025R_p^2 \text{ MeV} \quad (2)$$

$$E_0 = C_4 R_{50} \dots\dots\dots (3)$$

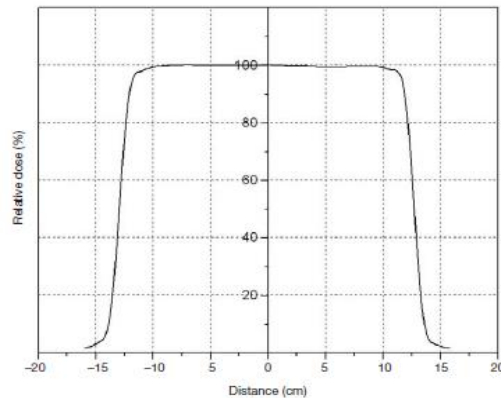
dengan nilai $C_4 = 2,33 \text{ MeV.cm}^{-1}$.



Gambar 4. Kurva PDD Berkas Elektron [6]

Profile dose

Profil berkas radiasi merupakan intensitas relatif pada bidang tegak lurus sumbu berkas. Profil berkas radiasi yang menggambarkan pengukuran dosis relatif pada suatu medan radiasi tertentu yang akan sangat bervariasi tergantung pada kedalaman berkas radiasi. [11]



Gambar 5. Kurva *Profile Dose* ^[11]

Flatness dan Symmetry

Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kestabilan berkas radiasi pesawat LINAC adalah dengan menentukan besarnya *Flatness* dan *Symmetry*. *Flatness* berkas radiasi dinyatakan sebagai prosentase variasi dosis maksimum yang diperbolehkan dalam suatu lapangan radiasi atau perbandingan antara dosis maksimum yang terjadi dalam suatu lapangan berkas radiasi dengan dosis minimum yang terjadi di lapangan tersebut. Sedangkan *Symmetry* adalah prosentase deviasi maksimum yang diperbolehkan antara dosis disebelah kiri dengan dosis disebelah kanan pada suatu lapangan berkas radiasi. ^[12]

$$Flatness = \frac{Dosis\ max - Dosis\ min}{Dosis\ max + Dosis\ min} \times 100\% \quad (4)$$

Nilai *Symmetry* untuk dua titik yang berjarak sama dari pusat berkas tidak boleh melebihi 3% untuk berkas elektron.

$$Symmetry = \frac{LuasKiri - LuasKanan}{LuasKiri + LuasKanan} \times 100\% \quad .. \quad (5)$$

AAPM merekomendasikan besarnya *flatness* dan *symmetry* tidak boleh lebih dari 3%. ^[12]

Fantom

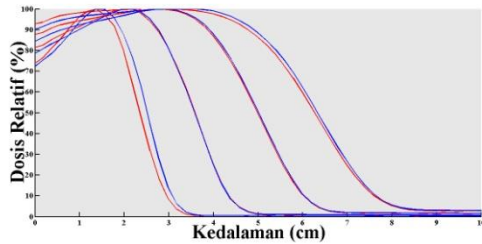
Untuk melakukan pengukuran perubahan kuantitas berkas, biasanya pasien akan diganti dengan medium yang sifatnya mendekati jaringan tubuh dalam menyerap dan menghamburkan berkas radiasi. Medium semacam ini biasanya disebut fantom. Dalam pengukuran dosimetri pesawat LINAC, fantom yang digunakan adalah *water phantom*. ^[5]

Metodologi Penelitian

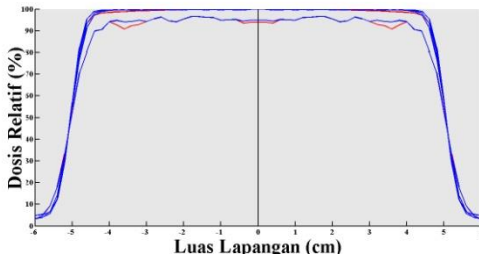
Pengukuran *Percentage Depth Dose* (PDD) dan *Profile Dose* dilakukan dengan bantuan *Water Phantom*. Pengukuran dilakukan dengan mengkondisikan SSD 100 cm dan luas lapangan aplikator 10x10 cm². Energi yang digunakan divariasikan dari 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV. *Water Phantom* dikondisikan sejajar dengan laser agar seimbang. Ionisasi *chamber* dipasang pada *Water Phantom* dan dihubungkan dengan *software* omnipro. Setelah mengatur berkas energi yang digunakan, dilakukan penyinaran dan diukur nilai PDD dan *profile dose*.

Hasil dan Pembahasan

Pesawat radioterapi LINAC yang digunakan adalah jenis HCX 6540. Pengukuran PDD dan *profile dose* yang dilakukan ditampilkan oleh *software* omnipro. Data yang diperoleh dari pengukuran ini dianalisis dengan bantuan aplikasi *matriks laboratory* (MATLAB) R.11.0 (R2010b) dan Microsoft Excel.



Gambar 6. Kurva PDD berkas elektron data acuan dan hasil penelitian energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV dengan luas lapangan aplikator 10 x 10 cm²



Gambar 7. Kurva profil dosis berkas elektron data acuan dan data penelitian energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV dengan luas lapangan aplikator 10 x 10 cm²

Persentasi Dosis Kedalaman (PDD)

Posisi	Kedalaman (cm)		Deviasi kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
R_{100}	1,38	1,37	0,73
R_{50}	2,35	2,50	6,00
R_p	2,95	3,10	4,83
Energi	Dosis (MeV)		Deviasi kesalahan (%)
	Penelitian (MeV)	Acuan (MeV)	
E_{p0}	6,08	6,38	4,70
E_0	5,48	5,82	5,84

Tabel 1. Parameter Posisi dan energi data acuan dan data penelitian untuk energi 6 MeV.

Dari Tabel 1 diperoleh nilai deviasi kesalahan 0,73%, 6,00% dan 4,83% untuk parameter Posisi R_{100} , R_{50} dan R_p , sedangkan untuk parameter energi E_{p0} dan E_0 , diperoleh deviasi kesalahan 4,70% dan 5,84 %. Hal ini menunjukkan bahwa deviasi kesalahan yang

melebihi 3% tidak memenuhi standar yang seharusnya sehingga perlu dilakukan pengecekan alat. Penurunan fraksi elektron yang diproduksi dari energi yang sama antara data acuan dan penelitian menyebabkan perbedaan kedalaman yang ditempuh antara data acuan dan data penelitian.

Posisi	Kedalaman (cm)		Deviasi Kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
R_{100}	1,98	2,18	9,17
R_{50}	3,60	3,57	0,84
R_p	4,45	4,40	1,13
Energi	Dosis (MeV)		Deviasi Kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
E_{p0}	9,08	8,98	1,11
E_0	8,38	8,31	0,84

Tabel 2. Parameter posisi dan energi data acuan dan data penelitian untuk energi 9 MeV.

Dari Tabel 2 diperoleh nilai deviasi kesalahan 9.17%, 0.84% dan 1,13% untuk parameter posisi R_{100} , R_{50} dan R_p , sedangkan untuk parameter energi E_{p0} dan E_0 , diperoleh deviasi kesalahan 1,11% dan 0,84 %. Deviasi kesalahan pada R_{100} senilai 9,17% tidak sesuai dengan toleransi yang diberikan, sedangkan untuk parameter lainnya sesuai dengan toleransi yaitu 3%. Hal ini menjelaskan bahwa energi pada data acuan memiliki tingkat kenaikan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian.

Posisi	Kedalaman (cm)		Deviasi kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
R_{100}	2,78	2,78	0
R_{50}	4,97	5,00	0,60
R_p	6,10	6,15	0,81
Energi	Dosis (MeV)		Deviasi Kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
E_{p0}	12,39	12,49	0,80
E_0	11,58	11,65	0,60

Tabel 3 Parameter posisi dan energi data acuan dan data penelitian untuk energi 12 MeV.

Dari Tabel 3. diperoleh nilai deviasi kesalahan 0%, 0,60% dan 0,81% untuk parameter posisi R_{100} , R_{50} dan R_p , sedangkan untuk parameter energi E_{p0} dan E_0 , diperoleh deviasi kesalahan 0,80% dan 0,60%. Dari semua parameter pengukuran pada Tabel IV.3 deviasi kesalahan memenuhi standar yang ditetapkan yaitu dibawah 3%. Hal ini menjelaskan bahwa untuk energi 12 MeV fraksi elektron yang diproduksi tidak berbeda secara signifikan antara data acuan dan data penelitian.

Posisi	Kedalaman (cm)		Deviasi Kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
R_{100}	2,98	2,98	0
R_{50}	6,27	6,35	1,25
R_p	7,70	7,75	0,64
Energi	Dosis (MeV)		Deviasi Kesalahan (%)
	Penelitian	Acuan	
E_{p0}	15,61	15,71	0,63
E_0	14, 61	14,79	1,21

Tabel 4. Parameter posisi dan energi data acuan dan data penelitian untuk energi 15 MeV.

Dari Tabel 4. diperoleh nilai deviasi kesalahan 0%, 1,25% dan 0,64% untuk parameter posisi R_{100} , R_{50} dan R_p , sedangkan untuk parameter energi E_{p0} dan E_0 , diperoleh deviasi kesalahan 0,63% dan 1,21 %. Dari Tabel IV.4, menunjukkan bahwa deviasi kesalahan yang diperoleh tidak melebihi 3% sehingga memenuhi standar yang ditetapkan.

Profil Dosis

Energi (MeV)	Deviasi (%)	
	Data Acuan	Data Penelitian
6	1,25	2,98
9	0,20	0,25
12	0,20	0,70
15	0,10	0,10

Tabel 5 Deviasi kerataan berkas berdasarkan data acuan dan data penelitian untuk energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV.

Dari Tabel 5. nilai deviasi kerataan berkas data acuan dan data penelitian memiliki perbedaan untuk energi 6 MeV, 9 MeV dan 12 MeV sedangkan energi 15 MeV nilai deviasi kerataan berkas tetap untuk data penelitian dan data acuan. Deviasi kerataan berkas pada tabel IV.5 masih dalam batas toleransi yaitu dibawah 3%.

Energi (MeV)	Deviasi (%)	
	Data Acuan	Data Penelitian
6	0	0
9	0	0
12	0	0
15	0	0

Tabel 6. Deviasi simetris berkas berdasarkan data acuan dan data penelitian untuk energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV.

Dari Tabel 6. nilai deviasi simetris berkas data acuan dan data penelitian tidak memiliki perbedaan untuk semua energi. Nilai deviasi simetris berkas 0% untuk

semua grafik profil dosis data penelitian dan data acuan.

Kesimpulan

Pada pengukuran *Percentage Depth Dose* (PDD), variasi energi berkas elektron berpengaruh pada jangkauan kedalaman penyinaran. Pada pengukuran *Profile dose*, variasi energi elektron akan berpengaruh pada kerataan berkas. Dari kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) dianalisis nilai R_{100} , R_{50} , R_p , E_{p0} , E_0 dan dibandingkan dengan data acuan diperoleh nilai ketidakakuratan yang bervariasi antara 0% - 9,17%. Ketidakakuratan diatas 3% tidak sesuai dengan standar. Dari kurva *Profile Dose* dianalisis nilai kerataan berkas dan simetris berkas namun masih berada dibawah batas yang dapat ditolerir yaitu 3%.

Daftar Pustaka

- [1] Darmawati dan Suharni. 2012. "Implementasi Linear Accelerator dalam Penanganan Kasus Kanker". UGM, Yogyakarta.
- [2] Pratiwi R. Faradina. 2010. "Analisis Kualitas Berkas Radiasi Foton 10 MV pada Pesawat Teleterapi Linear Accelerator". Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Warjono Sulistyono. 2012. "Verifikasi Lapangan Radiasi Linac Menggunakan Kaset Non Screen yang Dimodifikasi Lapisan Pb dan Zn pada Film Sinar X". Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- [4] Suharni, Diah F. Iswinning, Anggraita P. 2010. "Tinjauan Teknologi Akselerator Linear (LINAC) Elekta Precise di RSUP Dr. Sardjito". BATAN, Yogyakarta.
- [5] Panular D. Bondan. 2012. "Perbandingan Hasil Pengukuran Parameter Berkas Sinar – X dan Elektron Keluaran Pesawat Linac Menggunakan Detektor Matriks dan Fantom Air". Universitas Indonesia, Depok.
- [6] Anam C. 2010. "Simulasi Monte Carlo untuk Kontaminasi Elektron Pada Berkas Sinar-X 6 MV Produksi Pesawat Linac Elekta SL15". Universitas Indonesia, Depok.
- [7] R. Wahyuni A. dkk. 2013. "Analisis Hubungan Dosis Serap dengan Jarak Sumber Radiasi ke Permukaan Medium (SSD) dan Luas Lapangan Penyinaran dari Pesawat Linear Accelerator (LINAC)". Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [8] Podgorsak E. B. (2005). *Treatment Machines for External Beam Radiotherapy*, in *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, edited by Podgorsak E. B. Vienna, Austria: Publishing Section IAEA.
- [9] Dewanti K. W. A. 2013. *Pengaruh Virtual Wedge Terhadap Simetris Profil Dosis Keluaran Pesawat LINAC*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- [10] Subagiada Kadek. 2011. "Pengaruh Source Skin Distance (SSD) terhadap Profil Dosis Radiasi Pesawat Sinar-X". Universitas Mulawarman.
- [11] Sandy K. Y. Pati. 2010. "Profil Berkas Sinar – X Lapangan Simetris dan Asimetris pada Pesawat Linac Siemens Primus 2D Plus". BATAN, Yogyakarta.
- [12] Amalia Tuti dkk, 2004. "Analisa Profil Berkas Elektron Pesawat Akselerator Linier Medik". BATAN, Yogyakarta.
- [13] D. Syamsir, Armynah. B, M. P. Jumedi, akan dipublikasikan tahun 2015 atau 2016.